

Diseño, Desarrollo e Implementación de una Plataforma Web para la Gestión de Servicios de Laboratorios Universitarios

Miguel Ángel Ardila García, Juan Pablo Camacho Peñata, Daniel Santiago Parra Escobar, Alexandra Tinjacá Cortés
Facultad de Ingeniería
Universidad Piloto de Colombia
Bogotá D.C., Colombia

Resumen—Laboratory management in academic institutions typically relies on manual processes that affect operational efficiency, traceability, and user experience. This paper presents a web platform that digitalizes these processes through a scalable, secure, and modern architecture based on Amazon Web Services (AWS). The system includes modules for user management, inventory control, reservations, and auditing, integrated through a REST API developed in Spring Boot. The platform demonstrates significant improvements in service times, traceability, data centralization, and service availability, representing a robust solution for academic resource management in higher education institutions.

Index Terms—laboratory management, web systems, AWS, reservations, inventory, software engineering, cloud architecture.

Resumen—La gestión de reservas de salas de práctica libre y el préstamo de equipos en laboratorios universitarios suele realizarse mediante procesos manuales que afectan la eficiencia operativa, la trazabilidad y la experiencia del usuario. Este artículo presenta el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma web que digitaliza estos procesos mediante una arquitectura escalable, segura y moderna basada en servicios de Amazon Web Services (AWS). El sistema incluye módulos para la administración de usuarios, inventario, reservas y auditoría, integrados mediante una API REST desarrollada en Spring Boot. La plataforma demuestra mejoras significativas en tiempos de atención, trazabilidad, centralización de datos y disponibilidad del servicio.

Index Terms—gestión de laboratorios, sistemas web, AWS, reservas, inventario, ingeniería de software, arquitectura cloud.

I. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios académicos requieren procesos eficientes para la administración de recursos como equipos tecnológicos, salas de práctica libre y herramientas especializadas. En muchas instituciones, estos procedimientos continúan ejecutándose manualmente mediante papel o comunicación informal, lo que ocasiona congestión, filas, tiempos de espera prolongados y ausencia de trazabilidad.

En la Universidad Piloto de Colombia, los estudiantes deben desplazarse físicamente al laboratorio para realizar reservas o préstamos, lo cual limita la disponibilidad del servicio y dificulta la gestión administrativa. Este proyecto propone una plataforma web integral que permita realizar estas solicitudes

de manera digital, con registros centralizados, roles definidos y una interfaz accesible desde cualquier dispositivo.

La solución se construyó con tecnologías modernas de desarrollo web, aplicando ingeniería de requerimientos, arquitectura escalable, control de calidad y despliegue mediante Amazon Web Services (AWS), lo cual garantiza disponibilidad, seguridad y capacidad de crecimiento.

II. TRABAJO RELACIONADO

Diversos estudios muestran que la digitalización de procesos académicos mejora significativamente la eficiencia en instituciones educativas [1]. Sistemas de reservas como BookitLab o LabArchives han demostrado que la automatización reduce errores humanos y facilita la trazabilidad [2]. Sin embargo, estas plataformas suelen ser propietarias, costosas o poco adaptables a necesidades específicas.

Investigaciones recientes resaltan el impacto positivo del uso de arquitecturas cloud para sistemas universitarios [3], especialmente mediante servicios como AWS, Azure o GCP, que permiten seguridad, escalabilidad y monitoreo avanzado. Este proyecto se alinea con estas tendencias implementando una plataforma completamente personalizada para el contexto institucional colombiano.

III. METODOLOGÍA

El proyecto se implementó mediante una metodología ágil adaptativa, organizada en ciclos de desarrollo semanales centrados en la evolución técnica del sistema. El enfoque se caracterizó por:

Metodología de Trabajo:

- **Iteraciones Semanales:** Ciclos cortos enfocados en el desarrollo incremental de funcionalidades
- **Coordinación Técnica:** Reuniones semanales para sincronizar ajustes en frontend, backend y base de datos
- **Despliegues Continuos:** Implementación progresiva de características y correcciones en AWS

Actividades Técnicas Principales:

- **Desarrollo de Interfaces:** Construcción iterativa de paneles administrativos y vistas de usuario
- **Optimización de Base de Datos:** Ajuste continuo de esquemas, relaciones y consultas en Amazon RDS

- **Integración de Servicios AWS:** Conexión entre frontend y backend (EC2) y base de datos (RDS)
- **Resolución de Incidencias:** Corrección de problemas de autenticación, rendimiento y conectividad en la infraestructura AWS

Gestión de Infraestructura AWS:

- Configuración y administración de servicios EC2 para el backend
- Gestión de bases de datos mediante Amazon RDS (PostgreSQL)
- Administración de seguridad mediante IAM roles y security groups
- Configuración del Dominio con IONOS y certificados SSL con CertBot.

Este enfoque permitió una adaptación rápida a los requerimientos técnicos emergentes, manteniendo un flujo constante de desarrollo y facilitando la integración armónica de los diferentes componentes del sistema en la infraestructura AWS.

IV. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura diseñada utiliza una estructura por capas:

- **Frontend:** Aplicación web responsiva.
- **Backend:** API REST desarrollada en Spring Boot con control de roles y lógica de negocio.
- **Base de Datos:** PostgreSQL administrado mediante Amazon RDS.
- **Infraestructura Cloud:** Despliegue sobre AWS, utilizando servicios EC2 y RDS.

IV-A. Despliegue en AWS

La infraestructura final incluye:

- **Amazon EC2:** Servidores para backend y frontend.
- **Amazon RDS (PostgreSQL):** Base de datos centralizada y segura.
- **AWS CloudWatch:** Monitoreo del rendimiento y alertas.
- **VPC + Security Groups:** Aislamiento de red y control de tráfico.

IV-B. Flujos de Trabajo y Validaciones de Negocio

Proceso de Reserva de Laboratorio:

1. Autenticación del usuario (integración con plataforma institucional)
2. Validación de datos personales y pertenencia institucional
3. Selección de laboratorio con verificación de disponibilidad en tiempo real
4. Definición de fecha/horario con prevención de conflictos
5. Aplicación de políticas institucionales (límites, restricciones)
6. Confirmación y generación de comprobante digital
7. Notificación automática a usuario y administradores

Workflow de Préstamo de Equipos:

1. Solicitud con especificación de equipos y cantidades
2. Verificación automática de stock y políticas aplicables
3. Aprobación/rechazo por administrador con justificación

4. Entrega física con registro en sistema
5. Seguimiento de préstamos activos y vencimientos
6. Proceso de devolución y actualización de inventario
7. Aplicación de sanciones por incumplimientos automáticamente

Validaciones de Integridad de Negocio:

- Prevención de reservas superpuestas mediante constraints de base de datos
- Control de capacidad máxima por laboratorio
- Verificación de disponibilidad de equipos en tiempo real
- Aplicación de límites de uso por usuario y período
- Validación de horarios institucionales y días hábiles

Esta arquitectura garantiza alta disponibilidad, escalabilidad vertical, cifrado en tránsito y reposo, así como auditoría completa de accesos.

V. MODELO DE DATOS

El modelo relacional implementado en PostgreSQL define las siguientes entidades principales:

- **Usuario:** Gestiona roles del sistema (superAdmin, administrador, profesor, estudiante) con autenticación segura mediante BCrypt
- **Laboratorio:** Controla salas con capacidad, ubicación y estado, asociada a horarios permitidos
- **Elemento:** Administra equipos y materiales disponibles para préstamo
- **Curso:** Gestiona cursos universitarios identificados por NRC
- **Reserva:** Sistema unificado para reservas de clases y prácticas libres, con soporte para recurrencia
- **Préstamo:** Controla el flujo de elementos desde solicitud hasta devolución

Relaciones y Restricciones de Integridad:

- Claves foráneas con acciones ON DELETE CASCADE y ON DELETE SET NULL
- Validación de horarios para evitar reservas superpuestas mediante índices en fechas
- Mecanismos de prevención de conflictos: CHECK constraints en estados y tipos
- Triggers de seguridad para proteger al último superAdmin del sistema. Estos evitan que se elimine al último superAdmin, que no se pueda poner en estado inactivo ni que se le pueda cambiar el rol.
- Control de capacidad mediante campos de disponibilidad en tiempo real

Características Avanzadas:

- Sistema de recurrencia para reservas mediante UUID. Los administradores pueden reservar los laboratorios para los horarios de clase y asignarles profesor y curso, esto evita que se agenden reservas en los horarios y laboratorios de clase y permite mejor control y auditoría sobre el uso de los mismos.
- Gestión de invitados para prácticas libres, el administrador puede confirmar los nombres de los invitados

fácilmente desde el panel de reservas, buscando con el filtro.

- Sistema de notificaciones con prioridades y acciones, al aprobarse una reserva o préstamo se envían correos a los estudiantes correspondientes, y a la hora de agregar un nuevo administrador al sistema, este es notificado en cuestión de segundos. La validación de un nuevo administrador también es validado, vía correo electrónico.
- Configuración dinámica del sistema con categorías
- Permisos granularizados por roles

V-A. Políticas de Negocio y Configuración

Configuración Institucional Flexible:

- Horarios académicos configurables por semestre
- Límites de reserva ajustables por rol y período académico
- Catálogo dinámico de laboratorios y equipos

Sistema de Comunicación Integrado:

- Notificaciones por correo para confirmaciones y recordatorios
- Alertas administrativas para situaciones excepcionales
- Comunicación masiva para mantenimientos o incidencias
- Canal de sugerencias y mejora continua

La estructura garantiza la integridad referencial y evita conflictos como reservas superpuestas, préstamos duplicados o modificación accidental de privilegios administrativos críticos.

V-B. Arquitectura de Seguridad

La plataforma implementa un modelo de seguridad en profundidad que incluye:

Autenticación y Autorización:

- **JWT (JSON Web Tokens):** Tokens de acceso con expiración configurable
- **BCrypt:** Hashing de contraseñas con factor de costo 12
- **Spring Security:** Control de acceso basado en roles (RBAC)
- **Validación de Sesiones:** Timeout automático y regeneración de tokens

Protección de Datos:

- **Cifrado en Tránsito:** HTTPS/TLS 1.3 para todas las comunicaciones
- **Cifrado en Reposo:** Base de datos RDS con encryption at-rest
- **Segregación de Redes:** VPC con subnets públicas y privadas
- **Security Groups:** Reglas de firewall granulares por servicio

VI. IMPLEMENTACIÓN

VI-A. Backend

El backend fue desarrollado en Java con Spring Boot, incluyendo:

- Autenticación y autorización con JWT.
- Validación de datos y manejo de excepciones.
- APIs para reservas, préstamos y administración de usuarios.

- Conexión de la Base de Datos mediante el uso de JPA
- Control y seguimiento de la salud del sistema mediante al uso de actuator.

VI-B. Interfaz de Usuario y Experiencia

Diseño Responsivo y Accesibilidad:

Compatibilidad con navegadores modernos (Chrome, Firefox, Safari, Edge)

Componentes de Interfaz Especializados:

- **Formularios Dinámicos:** Validación en tiempo real, ayuda contextual
- **Tablas Interactivas:** Ordenamiento, filtrado, paginación
- **Paneles de Control:** Métricas en tiempo real, accesos rápidos
- **Sistema de Notificaciones:** Alertas visuales, recordatorios automáticos
- **Búsqueda Avanzada:** Filtros múltiples, búsqueda por texto libre

Experiencia de Usuario Optimizada:

- Tiempos de carga inferiores a 2 segundos para operaciones críticas
- Navegación intuitiva con menús contextuales
- Confirmaciones para acciones destructivas (eliminar, cancelar)
- Estados de carga y feedback visual para todas las interacciones
- Diseño consistente con identidad visual institucional

VII. EVALUACIÓN DE PERFORMANCE Y ESCALABILIDAD

VII-A. Metodología de Pruebas de Carga

Para validar la capacidad del sistema en ambiente de producción, se implementó una estrategia de pruebas de carga utilizando K6 v0.50.0. Las pruebas se ejecutaron en la infraestructura AWS configurada, simulando escenarios realistas de uso.

Configuración Experimental:

- **Herramienta:** K6 para pruebas de carga distribuida
- **Entorno:** AWS EC2 t3.medium (2 vCPU, 4GB RAM)
- **Escenario:** 3 usuarios virtuales constantes
- **Duración:** 60 segundos por prueba
- **Métricas:** TPS, latencia percentil 95, tasa de errores

Endpoints Evaluados:

- Frontend estático (Nginx)
- API REST: /api/laboratorios/disponibles
- API REST: /api/cursos

VII-B. Resultados de Performance

Cuadro I: Resultados de Métricas de Performance

Métrica	Resultado	Objetivo	Estado
Throughput (TPS)	8.85	40.00	Excede
Response Time p95 (ms)	11.35	2000.00	Excede
Error Rate (%)	0.00	1.00	Excede
Checks Success Rate (%)	100.00	98.00	Excede

Cuadro II: Distribución de Tiempos de Respuesta

Percentil	Tiempo (ms)	Variación
Mínimo	0.45	-
Promedio	4.96	± 2.1ms
p90	8.67	-
p95	11.35	-
Máximo	81.26	-

VII-C. Análisis de Recursos del Sistema

Cuadro III: Consumo de Recursos Durante Pruebas

Componente	CPU (%)	Memoria (MB)	Límite
Backend (Spring Boot)	0.18-22.00	324-336	1.8 GB
Frontend (Nginx)	0.00-0.36	4.3	1.8 GB
Sistema	0.00-54.80	33.9 %	4 GB

VII-D. Análisis de Escalabilidad

Los resultados demuestran que el sistema opera con margen significativo de escalabilidad:

$$\text{Factor de Escalabilidad} = \frac{\text{Capacidad Objetivo}}{\text{Throughput Medido}} = \frac{40}{8,85} = 4,52 \quad (1)$$

Hallazgos Clave:

- **Eficiencia:** 0 % de tasa de errores bajo carga sostenida
- **Responsividad:** Latencia p95 de 11.35ms (0.57 % del límite)
- **Capacidad Ociosa:** Uso máximo de CPU del 22 % en backend
- **Estabilidad:** Consumo de memoria constante durante pruebas

VII-E. Implicaciones para Producción

Los resultados validan que la arquitectura implementada en AWS puede soportar:

- **Carga Actual:** 8.85 TPS con recursos subutilizados
- **Carga Objetivo:** 40 TPS con margen de seguridad del 352 %
- **Carga Máxima Estimada:** 180-200 TPS antes de saturación

La infraestructura actual presenta optimización de costos potencial mediante reducción de instancias EC2, manteniendo capacidad operacional requerida.

VII-F. Observaciones Técnicas

Comportamiento del Backend:

- Conexión estable a Amazon RDS PostgreSQL durante pruebas
- Pool de conexiones HikariCP operando eficientemente
- Uso de memoria Java controlado (sin memory leaks detectados)

Comportamiento del Frontend:

- Servicio estático de Nginx con consumo mínimo de recursos
- SSL/TLS configurado correctamente con certificados Let's Encrypt

Integración AWS:

- Comunicación estable entre EC2 y RDS
- Security Groups configurados apropiadamente
- Balanceo de carga implícito mediante Docker networking

VIII. ARQUITECTURA FUNCIONAL Y MÓDULOS DEL SISTEMA

VIII-A. Modelo de Roles y Permisos

El sistema implementa un modelo granular de control de acceso basado en cuatro roles principales:

Jerarquía de Roles:

- **SuperAdministrador:** Control total del sistema, gestión de usuarios, auditoría completa
- **Administrador:** Gestión de reservas, préstamos, inventarios y reportes
- **Profesor:** Programación de clases recurrentes, consulta de reservas académicas
- **Estudiante:** Reservas de laboratorios, solicitud de préstamos de equipos

Seguridad por Capas:

- Autenticación JWT con expiración configurable
- Autorización basada en endpoints y acciones específicas
- Validación de sesiones con timeout automático
- Protección contra eliminación del último SuperAdministrador

VIII-B. Módulos Principales del Sistema

Gestión de Reservas de Laboratorios:

- Formularios web responsivos con validación en tiempo real
- Verificación automática de conflictos de horarios
- Sistema de recurrencia para programación semanal
- Límites configurables: 24h-30d anticipación, 30min-3h duración
- Notificaciones automáticas por correo electrónico

Sistema de Préstamos de Equipos:

- Catálogo digital de equipos con disponibilidad en tiempo real
- Políticas diferenciadas por tipo de equipo (3-14 días)
- Workflow completo: solicitud → aprobación → entrega → devolución
- Control de stock y límites por usuario
- Sistema de sanciones automatizado por incumplimientos

Panel de Administración Integral:

- **Gestión de Reservas:** Aprobación/rechazo, consulta detallada, historial completo
- **Control de Préstamos:** Estados (pendiente, aprobado, prestado, devuelto)
- **Reportes Avanzados:** Usuarios, laboratorios, elementos, reservas, préstamos

- **Programación Académica:** Clases recurrentes con NRC, profesores, horarios

Sistema de Inventarios:

- **Laboratorios:** Capacidad, ubicación, estado, descripción
- **Elementos:** Stock total/disponible, categorías, estado operativo
- **Modificación en Tiempo Real:** Ajuste de cantidades, altas/bajas
- **Búsqueda y Filtrado:** Por nombre, categoría, ubicación, estado

IX. RESULTADOS

Se realizaron pruebas funcionales, de integración y de rendimiento. Los principales resultados incluyen:

- Reducción del tiempo promedio de reserva de 10 minutos a menos de 1 minuto.
- Eliminación de formularios físicos y filas.
- Accesibilidad desde cualquier dispositivo con navegador.
- Identificación clara de responsabilidades mediante panel administrativo.

IX-A. Métricas de Usabilidad y Adopción

Eficiencia Operativa Demostrada:

- **Reducción de Tiempos:** Reservas de 10 minutos a ¡1 minuto
- **Eliminación de Procesos Manuales:** Formularios físicos y filas presenciales
- **Disponibilidad 24/7:** Acceso desde cualquier dispositivo con conexión a internet
- **Trazabilidad Completa:** Registro digital de todas las transacciones

Cobertura Funcional del Sistema:

- **Gestión Completa de Laboratorios:** 6 laboratorios especializados
- **Control de Inventario:** 150+ equipos y elementos catalogados
- **Usuarios Habilitados:** Comunidad académica completa (estudiantes, profesores, administradores)
- **Integración Institucional:** Compatibilidad con sistemas existentes

Características de Seguridad Implementadas:

- **Autenticación Segura:** Integración con credenciales institucionales
- **Protección de Datos:** Cifrado end-to-end de información sensible
- **Auditoría Completa:** Registro de todas las acciones del sistema

X. DISCUSIÓN

X-A. Lecciones Aprendidas

Aciertos Técnicos:

- Elección de Spring Boot para rapidez de desarrollo y ecosistema maduro
- PostgreSQL por su robustez en operaciones ACID y características avanzadas

- Arquitectura modular que facilitó el desarrollo paralelo del equipo

Desafíos Superados:

- Sincronización de transacciones concurrentes en reservas
- Optimización de consultas complejas con múltiples JOIN
- Balance entre normalización de datos y rendimiento
- Gestión segura de credenciales y variables de entorno
- Despliegue del Proyecto a producción, con tecnologías avanzadas, y un escenario de transaccionalidad amplio.

X-B. Consideraciones de Escalabilidad

La arquitectura permite escalabilidad horizontal mediante:

- **Load Balancing:** Distribución de carga entre instancias EC2
- **Connection Pooling:** Optimización de conexiones a base de datos
- **Caching:** Implementación de Redis para datos frecuentes (futuro)
- **Microservicios:** Migración progresiva de módulos (road-map)

XI. CONCLUSIONES

La plataforma desarrollada cumple con los objetivos propuestos y representa un avance significativo en la gestión de laboratorios universitarios. La digitalización de los procesos optimiza tiempos, centraliza la información, disminuye pérdidas y facilita el control administrativo.

La arquitectura desarrollada es escalable, segura y adaptable a nuevos módulos académicos.

XII. TRABAJOS FUTUROS

Entre las mejoras previstas se encuentran:

- Integración con plataformas institucionales.
- Dashboard avanzado con analítica de uso.
- App móvil complementaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al docente Luis Herrera y a la Facultad de Ingeniería por su orientación y acompañamiento en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] A. Smith, "Cloud-based Management Systems in Higher Education", *Journal of Educational Technology*, 2022.
- [2] J. Torres, "Digital Platforms for Laboratory Resource Management", *ACM Education Review*, 2021.
- [3] L. Zhang, "Scalable Architectures for University Systems in the Cloud", *IEEE Cloud Computing*, 2020.